

河川に沿う風の局地的循環系の相互作用について (第二報)

大和田 道 雄 *

I まえがき

北半球の中緯度に位置する我が国では、移動性高気圧、およびシベリア高気圧に覆われた晴夜において、海岸部では陸風、山間部では山風の発達が目撃となる。これは、地表面の放射冷却によって冷やされた空気が、重力に従って低い所へ流下するからである (吉野, 1961; Yoshino, 1975)。一般にこれらの冷氣は、地上摩擦の小さな河川に沿って流下することが多く、山風と陸風が合致することも少なくない (大和田, 1982; 大和田・神谷, 1983)。

また、夏季の日中においては、海岸部では海風が吹出し、山間部では谷風が平野部から山地に向かって吹き込んでいる (Defant, 1951)。これらの局地的循環系は、夜間に形成される循環系に比較して大気の移動が速く、さらに高度も高いのが普通である。このため、海風と谷風は山風や陸風よりも相互作用を起こしやすいと考えられる。すなわち、臨海部で排出された大気汚染物質を、海風の侵入限界のみならず、より内陸にまで移送する結果となる。これは、これまでの研究が、大気汚染と海陸風とのかかわり合いについてのみであった (原田, 1969; 波多, 1971; Young・Winchester, 1980) ことを考えると、重要な課題を残していると言えよう。このことをふまえ、根山 (1974) は、広島湾で発達する海陸風が、近接する山地沿いの山谷風と相互作用をなしていることをつきとめた。

しかし、この研究は、海岸部と山地上の 2 地点の観測資料に基づくものである。すなわち、相互作用を起こすと思われる地域での観測結果からの実証がなされていない。

そこで、筆者は、愛知県の矢作川流域において、多地点の定点観測、および移動観測を実施し、山谷風と海陸風の相互作用を確認した (大和田, 1982)。本報告は、その前回の研究をふまえ、特に、流域に沿う大気の流れ、および山谷風と海陸風の風速の相互作用について検討しようとするものである。

II 調査対象地域

愛知県の三河山間部から三河湾に流下する矢作川は、流域面積が 1,830km²、全長 117km の一級河川である。この河川に沿う主な都市としては、海岸部から約 20km 程内陸に位置する岡崎市、およびそこからさらに 10~15km 内陸の豊田市がある。岡崎市は、歴史的にも良く知られている城下町であり、国道一号線に沿って都市が発達している。このため、騒音および大気汚染等、しばしば問題にされている地域でもある。また、自動車産業で知られた豊田市は、内陸の工業都市としては他に類を見ない発展をしてきた都市であり、三河山間部のみならず、愛知県の経済的基盤を左右していると言っても過言ではないであろう。このように、内陸に工業地域を持つ流域内の大気環境が、海岸部の海陸風、および山間部の山谷風といった局地的循環系とどのようにかかわり合っているかを知るこ

* 愛知教育大学地理学教室

とは、流域内に住む人々にとって重要な問題となるであろう。

また、最近の研究(足田・木村, 1982)では、矢作川流域に位置する都市の大気汚染指数($\text{NO}_x \cdot \text{SO}_2 \cdot \text{降下煤塵}$)が、徐々に上昇傾向を示すことが報告されている。特に、この傾向は、三河湾からの海風前線付近に位置する岡崎市において顕著である。本報告では、以上の事実をも踏まえて検討していくつもりである。

III 観測期日および方法

観測は、第一報(大和田, 1982)と同じ太平洋高気圧に覆われた夏型気圧配置時(1981年7月26日)において実施した。これは、夏型気圧配置時

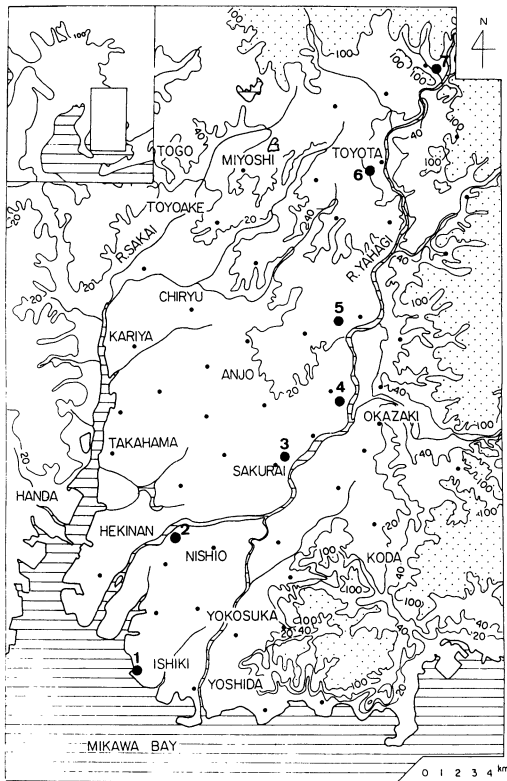


Fig. 1 Topographical map and the station points and observation points along the Yahagi river, Aichi Pref, Central Japan.

が、海風と谷風の発達が顕著であるのに対し、陸風・山風が年間を通じて最も弱い時期であるからである。すなわち、この気圧配置下においては、陸風と山風の相互作用が起こりにくく、岡崎市の高濃度汚染を知る手掛かりとなると考えたからである。

観測地点は、Fig. 1に示すように海岸部の一色、海岸部から7~8 km内陸の西尾、西尾からさらに7~8 km内陸の桜井、および内陸20 kmの岡崎の4地点と、さらに岡崎より約4 km上流の畛部、盆地的要素を持つ(大和田編, 1982)豊田、および枝下の3地点である。すなわち、海岸部の一色から岡崎までの定点観測地点は、海陸風の循環系、畛部から枝下までは山谷風の循環系を知り得ると考えたからである。

また、移動観測地点は、矢作川の流域に沿って48地点を選定した。これは、各地点で3分間の平均値を求めた場合、1台の自動車での可能観測地点数は12地点が限界だからである。すなわち、この移動観測に際しては、4台の自動車を使用した。

観測に使用した器械は、定点および移動観測ともにアスマン通風乾湿計と中浅式風向風速計である。また、定点では1分ごとに風向・風速、および気温を読み取り、移動は各地点で3分間の平均値を読み取った。

IV 矢作川に沿う風の分布

1. 午前中

Fig. 2は、1981年7月26日の5時から8時52分にかけての風向を流線で表したものである。

この図から、北部山地からは北の風、および東部山地からは北東の風が矢作川に沿って収束し、上流部では北北東の風、下流部では北東の風となって三河湾に吹き出していることがわかる。特に豊田では、矢作川の支流にあたる伊保川・御船川・力石川に沿って冷気が流れ込み、豊田市中心部で

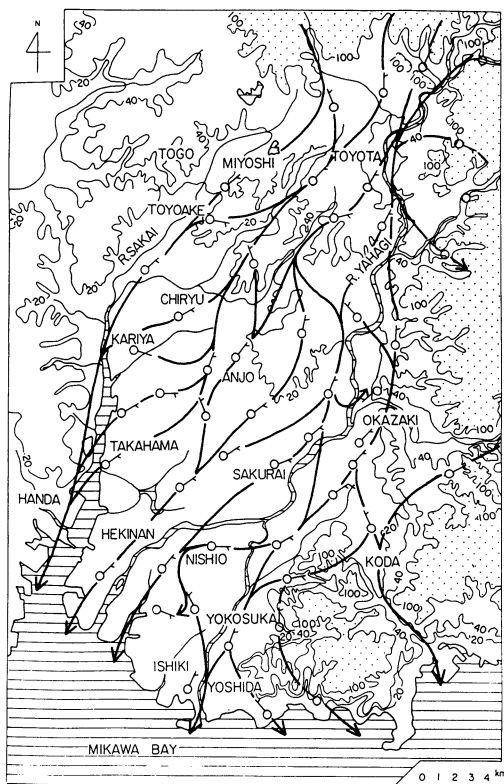


Fig. 2 The distribution of northeasterly wind stream line along the Yahagi river in the forenoon (5^h00^m—8^h52^m) on July 26, 1981. (5^h00^m—8^h52^m)

は北北東の風となって南下していることが読み取れる。これらは、いずれも矢作川の支流で発達する山風である（大和田・橋本・藤井・鈴木，1981）。さらに、この北北東の風は、岡崎付近において東よりの風と収束し、桜井方面の東の風と、西尾・横須賀へ向かう北東の風に枝分かれして三河湾に至っている。しかし、岡崎ではわずかながら乱流していることがわかる。この早朝における風の分布形態は、夏型気圧配置時であるにもかかわらず、山風・陸風の発達が著しいシベリア高気圧時とほとんど変わらない（大和田，1982）。これは、冷気の流出が、地上摩擦の小さな河川に沿って流下することが多く、地表面のわずかな起伏の

影響を受けやすいためである。

2. 日中

これに対し、Fig. 3 は同日の11時から14時26分にかけての風向分布を表したものである。

この図から、矢作川に沿う夏季の日中の風は、南よりの風によって支配されていることがわかる。特に、矢作川の河口から侵入する海風は、矢作川に沿って北上する風と境川に沿って三好に達する風とに枝分かれして吹走する。この中で、境川に沿う風は、風向が比較的安定しているのに対し、矢作川に沿う地域、特に左岸では、海風の前線付近にあたる岡崎を中心として風向不安定となり、

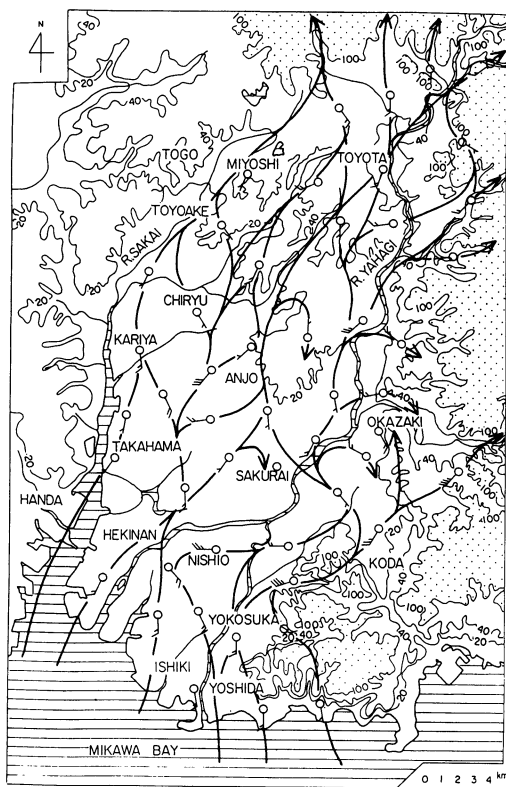


Fig. 3 The distribution of southwesterly wind stream line along the Yahagi river in the afternoon (11^h00^m—14^h26^m) on July 26, 1981.

風向のバラツキが著しい。しかし、さらに内陸の豊田付近では、再び風向が安定していく。これは、豊田市付近で形成される谷風の影響であろう。また、矢作川の支流にあたる伊保川では、境川に沿って北上してくる南西の海風と伊保川に沿う谷風とが収束帯を形成している。境川は、海風の侵入が著しいようである。これに対して、矢作川に沿う地域では、内陸15~20kmの桜井付近から岡崎にかけての地域において、海風と谷風の合致が読み取れる。

V 海陸風と山谷風の相互作用

1. 矢作川に沿う風の方位別頻度

矢作川に沿う岡崎市付近は、日中の南よりの風、および早朝から午前中にかけての北よりの風が、いずれも乱流を形成していたことが確認できた。これは、岡崎市付近が、海風前線および山風前線に位置するためではなかろうかと思われる。

以上の事実を踏まえ、矢作川に沿う海岸部の一

色 (St. 1) から山間部 (St. 7) の枝下にいたる7つの定点観測結果を整理してみた。

Fig. 4 は、1981年7月26日の日中と早朝における風向・風速、および頻度を各定点ごとに表したものである。この図の中で、黒丸は5時から9時まで、および白丸は11時から15時までの1分ごとの風向と風速を表す。それぞれの白丸・黒丸の位置は、風向と風速を表し、各定点での風の傾向が一目で読み取ることができる。この図から、風向・風速の時間的変化を読み取ることはできないが、これはすでに報告した (大和田, 1982) ので割愛させていただくことにする。

この図から、日中 (11時~15時) の最多風向および風速を見ていくと、St. 1 の一色では南西から南南西の風、St. 2 (西尾)・St. 3 (桜井) では南南東から南南西の風、および St. 4 の岡崎では、南西の風向頻度が高いことが読み取れる。しかし、海岸部の St. 1 (一色) から St. 4 の岡崎に向かうにしたがって徐々に風速が弱まる傾向にあり、風

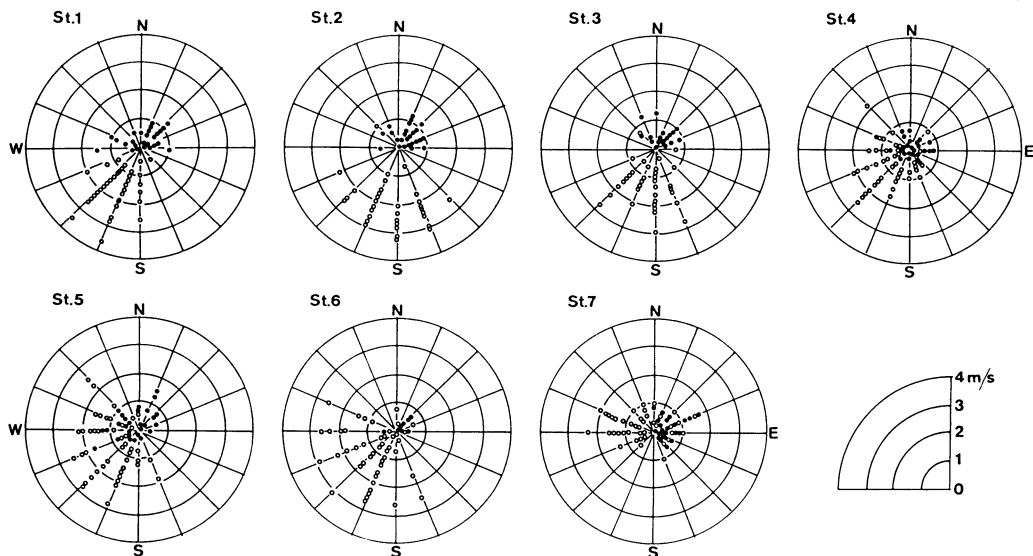


Fig. 4 The relationship of the wind direction and wind velocity (m/s) at the station points along the Yahagi river on July 26, 1981.

● is northeasterly winds (5^h00^m—9^h00^m)

○ is southwesterly winds (11^h00^m—15^h00^m)

向のバラツキも大きくなる。特に、内陸20km付近に位置する岡崎では、1.0m/s以下の風速の範囲内において、風向が北西から南東へとバラツキが大きい。これは、この地域が海風の前線地域にあたるため、風向不安定となったものであろう。

これに対し、St.5の畝部からSt.6の豊田にかけては、風向のバラツキが見られるにもかかわらず、再び風速が増す傾向にある。すなわち、St.4では、最大風速が2.5m/s以下であったのに対し、St.5では3.0m/sに近い南西よりの風が吹いている。St.6の豊田では、さらにその傾向が強まり、3.0m/s以上の風が吹いている。しかし、山間部のSt.7(枝下)では、急に風速が弱まり、2.0m/s前後の西よりの風に変化する。これは、St.5からSt.6にかけての地域が、海岸部のSt.1からSt.4までの海風の循環系とは異なった風、すなわち、谷風の循環系が形成されていることを意味している(MacHattie, 1968)。このことから、矢作川に沿う夏季の日中の風は、St.1の一色からSt.3の桜井にかけて侵入する海風の循環系と、St.5からSt.6の豊田を中心として発達する谷風の循環系とが、St.4の岡崎市付近で相互作用をなしていると考えられる。

また、早朝から午前中(5時～9時)にかけての風は、日中に比較して風速が弱く現れることがわかる。これは、日中の海風や谷風に比較して、陸風や山風は冷気の流出によるものであるからであり、1.5m/s前後が普通である。しかし、放射冷却が著しいシベリア高気圧時、および移動性高気圧時においては、さらに強まることもある(大和田・神谷, 1982)。

この図から、St.1の一色からSt.3の桜井までは、北東ないし北北東の風によって占められていることがわかる。風向のバラツキは、弱風であるにもかかわらず、さほど大きくは現れていない。しかし、St.4の岡崎では風向のバラツキが大き

く、主風向は見あたらない。このことは、主な陸風がSt.3から三河湾に向けて吹走していることになる。これに対し、St.5の畝部からSt.7の山間部にかけては、北東ないし北北東の風向頻度が高いことがわかる。すなわち、これが山風である。特に、St.7の枝下では、1.8m/sの風が出現している。このことは、この豊田市を中心とする地域において、山風の局地的循環系が形成されていることになる。しかし、日中のように海岸部で形成される循環系とは合致していないようである。

そこで、この傾向をさらに詳しく把握する目的で、風速の時間的変化を追ってみた。

2. 河川に沿う風速の時間変化

Fig.5は、矢作川に沿う夏季(1981年7月26日)の日中(11時～15時)の南西よりの風と、朝(5時～9時)の北東よりの風を、10分毎のベクトル平均風速(m/s)によって表したものである。この図の中で、上段(B)は日中、下段(A)は朝の風速の時間変化を表している。この図の特徴は、各観測地点の位置および海岸からの距離、さらに海拔高度が一目でわかり、それぞれの地点と風速の時間的変化とを対応させながら読み取ることができる。

この図から、夏季の日中の風は、14時以降に強くなる傾向がある。これは、海風や谷風の循環系が最も発達する時間帯だからである。これをさらに詳しくみていくと、海岸部のSt.1においては、11時から14時までの風速が1.8m/s前後であり、14時から2.0m/s以上の風が吹走している。特に14時20分では、3.0m/sにまで達している。さらに、海岸部から7～8km内陸のSt.2(西尾)では、St.1に比較して風速が強まり、11時30分から40分にかけて13時20分と50分、および14時00分と14時20分では2.5m/s以上となっている。特に、14時30分以降は3.0m/sを上回り、14時50分では

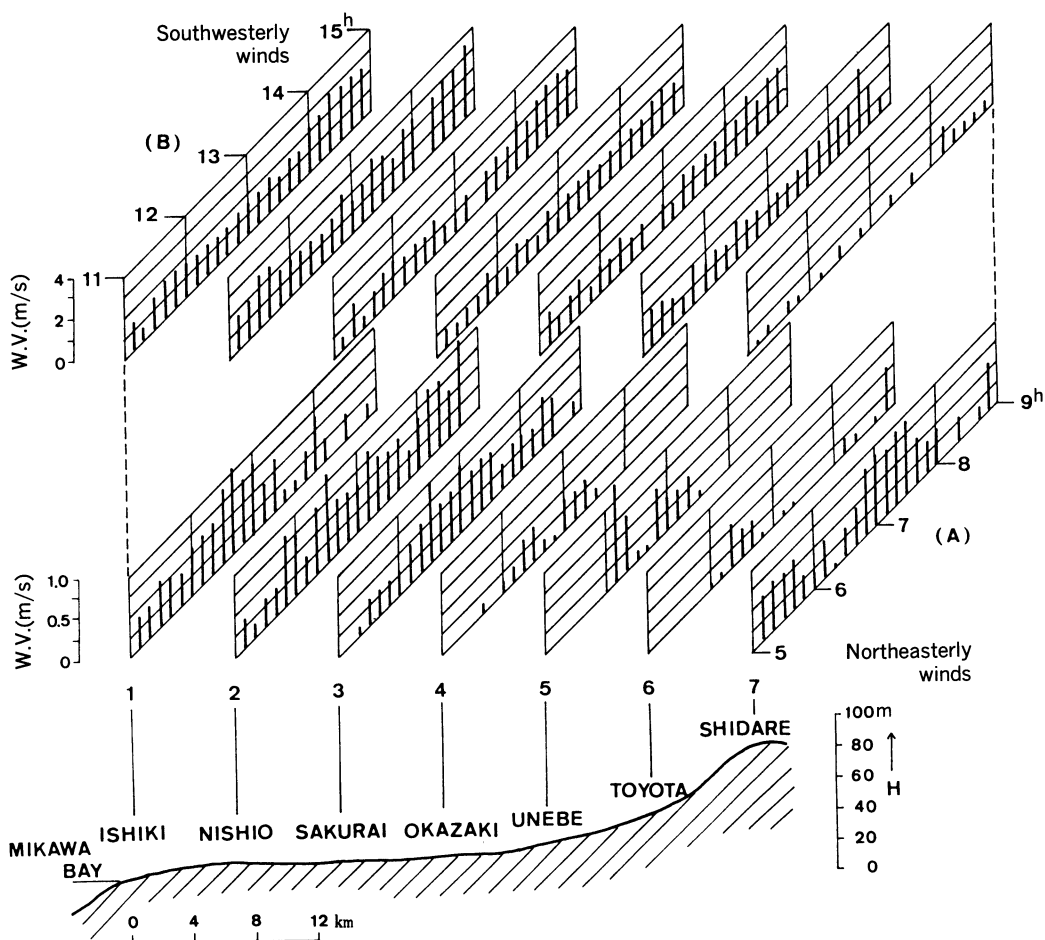


Fig. 5 Time variation of vector mean wind velocity (m/s) of the northeasterly winds (5^h00^m—9^h00^m) and southwesterly winds (11^h00^m—15^h00^m) along the Yahagi river on July 26, 1981.

3.5m/s を示す。しかし、St.3 の桜井では、再び風速が弱まる傾向にあり、2.0m/s 以上の風は14時から15時にかけてのみ出現するだけである。また、内陸20km付近に位置する岡崎は、St.3 よりもさらに風速が弱まり、ほとんどが 1.0m/s 前後である。たとえば、最高気温出現時の14時以降においても 2.0m/s を超えることはない。このことから、岡崎市付近は、矢作川の河口から侵入してくる海風の前線地域に位置しているのではないかと考えられる。

しかし、内陸部の St.5 (畝部) では、風速の時間的変化が著しいものの、St.4 よりも強くなる傾向にある。このため、14時から15時にかけての時間帯は、2.0m/s 以上の風が出現する。さらに、内陸の盆地的要素をもつ (大和田編, 1982) St.6 (豊田) では、St.5 とさほど違いがみられないものの、14時30分では 3.4m/s の風が出現する。また、山間部にあたる St.7 の枝下では、ほとんど無風状態に近く、14時10分を除けば 0.5m/s 前後である。

以上のことから、夏季の日中においては、海岸部からの海風が内陸20km付近の岡崎まで達し、さらに豊田市付近で発達した谷風の循環系と合致してより内陸にまで侵入していることが明らかとなった。

これに対し、図中 (Fig. 5) の下段に示す5時から9時までの風速の時間変化は、風上側にあたる山間部の St. 7 (枝下) において冷気の流出が著しいことがわかる。特に5時から6時、および6時50分から7時30分にかけては、平均風速であるにもかかわらず、0.7~0.8m/s の山風が吹走している。この山風は、St. 6 の豊田では6時20分から40分にピークが現れるものの、ほとんど無風状態となる。これは、豊田市が盆地的要素を持つために、冷気湖が形成されて弱風域となったのであろう。この傾向は、St. 4 の岡崎および St. 5 の畝部においても同様である。しかし、この中で St. 5 の畝部だけは、再び風速が増し、6時10分に1.0m/s 以上が出現する。このことから、山風の吹走限界は、岡崎市付近ではなかろうかと思われる。これらの弱風域に対し、St. 3 の桜井から海岸部の一色にかけては、北西よりの風速が急に強まる傾向にある。すなわち、岡崎市の風速が、6時から7時30分にかけて0.3m/s 前後であったのに対し、St. 3 では同じ時間帯において0.5m/s 以上も強くなる。St. 2 の西尾では、さらに風速が強まり、6時20分と8時40分において1.0m/s 以上の風が吹走している。この St. 3 から St. 1 にかけての風は、陸風の吹き出しの影響によるものと思われる。

以上のことから、5時から9時にかけての時間帯は、海岸部から内陸15~6 km の範囲において陸風が吹走し、山間部の枝下では山風が確認された。しかし、St. 4 から St. 6 にかけての地域では、冷気湖および山風前線の関係から、ほとんど無風状態に近かった。このことは、夏季の早朝から午前中にかけての矢作川に沿う山風と陸風は、あまり

相互作用が行われていないことを示している。

以上の事実から、矢作川に沿う夏季の山谷風と海陸風の相互作用は、日中の海風および谷風吹走時において、海風前線の岡崎市付近でわずかながら風速が弱まるものの、それぞれの局地的循環系の合致が確認された。しかし、早朝から午前中にかけての山風および陸風の吹走時においては、陸風に比較して山風の循環系はあまり顕著ではなく、相互作用もみられなかった。これは、海風によって運ばれた大気汚染物質が、谷風によってさらに内陸まで移送されるのに対し、山風が陸風と結びつかなかったために、内陸部に汚染物が停滞しやすくなるといえよう。そこで、これまでの山谷風と海陸風の相互作用をふまえ、さらに岡崎市とその周辺地域の風の流れについて検討してみる。

VI 岡崎市に出現するカントリーウィンド

岡崎市は、これまでの研究から、日中は海風前線、および早朝は山風前線地域にあたり、矢作川流域の中でも弱風域として存在することが明らかとなった。これは、岡崎市街地において heat island が形成されやすいことを意味している。すなわち、heat island の形成は、都市上空に逆転層、もしくは等温層をもたらす、大気汚染停滞の要因ともなる (Lea, 1968; 福岡, 1971・1975; Oke, 1971・1973)。この heat island の垂直構造は、ドーム状をなしていると考えられており (Bornstein, 1968; 大和田・稲垣・山田, 1979)、内部では局地的な循環系が形成されている (Okita, 1960; Preston-Whyte, 1970)。すなわち、都市内部へ向かう郊外からの補償流が地表では吹走する。これがカントリーウィンドである。

Fig. 6 は、1981年7月26日の5時から8時30分までの岡崎市における風向分布である。観測は、中浅式風向風速計を使用して、自動車による移動観測方法で行った。詳細は前述したので省略させ

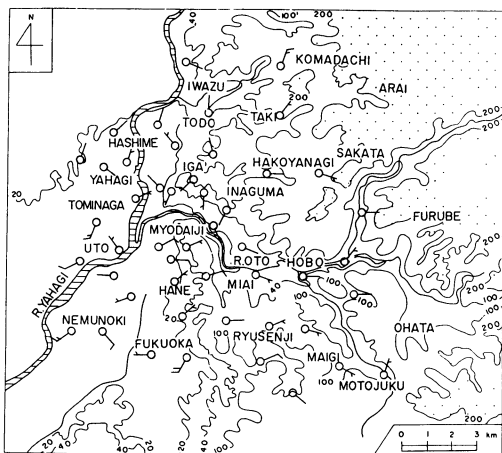


Fig. 6 The distribution of wind direction in Okazaki city from 5^h00^m to 8^h30^m on July 26, 1981.

ていただくことにする。

この図から、岡崎市の中心市街地へ向けての弱い風の流入が読み取れるであろう。すなわち、市北部の岩津から伊賀にかけては北よりの風、西部の矢作川右岸では南西の風、および東部の巴川に沿う地域では東よりの風が吹走している。また、わずかながら反時計回りの回転をしているようである。これまで、日本におけるカントリーウインドは、一般風や局地的な風の影響を受けて、その確認は困難とされてきた（吉野，1961）。Okita（1960）によるカントリーウインドの研究も、冷氣湖が形成されやすい上川盆地の旭川市でのものであった。この岡崎市の場合には、山谷風や海陸風の影響をあまり受けない地域であったため、カントリーウインドが確認できたのではないと思われる。しかし、カントリーウインドの存在は、都市内部に大気汚染を停滞させる要因ともなり、海風および山風前線地域と合わせて高濃度汚染地域となりやすいことを示唆している。

VII 結語とあとがき

本研究は、中緯度に位置する我が国の日中と晴夜に発達する海陸風と山谷風との局地的循環系の相互作用について、愛知県の三河部を流下する矢作川を例にとって実証したものである。また、その相互作用の結果としておこる高濃度汚染や、それを助長するカントリーウインドの存在など、これらを含めて要約すると以下になる。

(1) 矢作川に沿う地域の夏季の風の移動観測結果から、日中においては南よりの風、および早朝では北よりの風によって占められている。しかし、海岸部から内陸20km付近に位置する岡崎市では、風向不安定となり、風の乱れが大きい。

(2) また、海岸部の一色から山間部の枝下までの7地点の定点観測結果から、方位別風向頻度の特徴をみると、日中においては海岸部の St. 1 から St. 7 の風向が山間部にいたるにしたがってバラツキが大きくなるものの、ほぼ南～南西の主風向を示す。これに対して早朝では、St. 1 ～ St. 3 の海岸部と、St. 5 ～ St. 7 の山間部において北東の風向頻度が高いのに対し、St. 4 の岡崎では風向不安定となって現れる。

(3) さらに、ベクトル平均風速による時間変化を追ってみると、日中においては、St. 7 の枝下を除けば約 1.5～2.5m/s 前後の風によって海風と谷風が合致しているが、山風および陸風吹走時には、St. 4 ～ St. 6 にかけて無風状態が続き、St. 1 ～ St. 3 の陸風と、St. 7 の山風との相互作用はみられなかった。

(4) この海風前線、および山風前線地域にあたる岡崎市は、近年、大気汚染濃度が上昇傾向にあることから、さらに岡崎市内の大気の流れを観測した結果、カントリーウインドの存在を確認することができた。このことは、岡崎市が山谷風と海陸風の相互作用とも合わせて高濃度汚染地域にな

りやすいといえる。

以上の事実から、今後、都市の大気環境を維持していくためには、それぞれの都市の地形的位置、卓越風、および山谷風・海陸風等の局地的循環系を踏まえた流域単位での検討が必要であろう。

本研究は、1982年の日本地理学会秋季大会において発表したものに加筆・修正したものである。資料は、大和田指導による1981年度愛知教育大学地理学教室の野外実験の一環として実施したものを使用した。観測に御協力いただいた学生諸氏に深く感謝の意を表したい。

最後に、この研究は、今春をもって御退官になられる榊原康男教授に謹呈するものである。在職中、グローバルスケールでの視野と人間性を持たれた先生の御指導には、心から敬服すべきことが多かっただけに残念でならない。心から先生の御健康と益々の御発展をお祈り申し上げる次第である。

参考文献

- Bornstein, R. D. (1968) : Observations of the urban heat island effect in New York city. *J. App. Met.*, 7, 575~582.
- Defant, F. (1951) : Local winds. *Compendium of Met.*, 655~672.
- 福岡義隆(1971) : 静穏形成に関する気候学的考察。地理学評論, 44, 11, 740~750.
- 福岡義隆(1975) : 盆地都市の気候と大気汚染(第2報) —ラパークラッキング法によるオゾン濃度推定— 東北地理, 27, 3, 124~129.
- 原田 朗(1966) : 高濃度の大気汚染と気象条件について。天気, 13, 12, 417~426.
- 波多正二(1971) : 四日市の海風と大気汚染。天気, 18, 7, 355~363.
- 疋田綾子・木村典子(1982) : 濃尾平野における大気汚染分布。豊田の気候, 3・4, 10~15.
- Lea, D. A. (1968) : Vertical Ozone Distribution in Lower Troposphere near an Urban Pollution complex. *Jour. Appl. Met.*, 7, 252~267.
- MacHattie, L. B. (1968) : Kananaskis Valley Winds in Summer. *Jour. Appl. Met.*, 7, 3, 348~352.
- 根山芳晴(1974) : 海陸風と山谷風との相互作用。天気, 21, 11, 587~589.
- Oke, T. R.・East, C. (1971) : The Urban Boundary Layer in Montreal. *Boundary-Layer Meteorology*, 1, 411~437.
- Oke, T. R. (1973) : City Size and The Urban Heat Island. *Atmospheric Environment*, 7, 769~779.
- Okita, T. (1960) : Estimation of Direction of Air Flow from Observation of Rime Ice. *J. Met. Soc. Japan, Series II*, 36, 174~185.
- 大和田道雄・稲垣祐子・山田裕則(1979) : 小規模住宅団地の気温と風の垂直分布。愛知教育大学地理学報告, 48, 1~10.
- 大和田道雄・橋本寿朗・藤井裕士・鈴木由美子(1980) : 豊田市中金町の山谷風。豊田の気候, 2, 23~30.
- 大和田道雄編(1982) : 「豊田の気候環境」。荘人社, 1~301.
- 大和田道雄(1982) : 矢作川流域における冷気の流出と逆転度について。筑波大学気候学・気象学研究報告, 6, 32~36.
- 大和田道雄(1982) : 河川に沿う風の局地的循環系の相互作用について。「環境科学の諸断面」, 土木工学社, 92~95.
- 大和田道雄・神谷俊彦(1983) : 河川に沿う冷気流出時の気温変化と逆転度について。愛知教育大学研究報告, 32, 1~11.
- Preston-Whyte, R. A. (1970) : A Spatial Model of an Urban Heat Island. *Jour. Appl. Met.*, 9, 571~573.
- 吉野正敏(1961) : 小気候。地人書館, 1~274.
- Yoshino, M. M. (1975) : Climate in a small area. Univ. of Tokyo Press, 176~178.

Young, S. • Winchester, J. W. (1980) : Association
of Non-Marine Saltate Aerosol with Sea Breeze

Circulation in Tampa Bay. Jour. Appl. Meteor.,
19, 4, 419~425.